

ANALISIS INTERFERENSI TEKNOLOGI 5G TERHADAP SISTEM KOMUNIKASI SATELIT DI PITA FREKUENSI EXTENDED-C (3.4 – 3.7 GHz)

ANALYSIS INTERFERENCE OF 5G TECHNOLOGY TO SATELLITE COMMUNICATION ON EXTENDED C-BAND

Muhammad Faqih¹, Nachwan Mufti Ardiansyah², Uke Kurniawan Usman³

¹Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

²Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

³Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹muhfaqih@student.telkomuniversity.ac.id, ²nachwanma@telkomuniversity.ac.id,

³ukeusman@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Salah satu calon frekuensi *mid-band* yang akan diajukan untuk penggunaan frekuensi teknologi 5G adalah di 3,5 GHz, namun frekuensi ini juga digunakan oleh beberapa operator sistem komunikasi satelit di Indonesia. Berdasarkan hasil *World Radio Congress 2019*, Indonesia mendapatkan rentang frekuensi dari 3500 – 3600 MHz untuk IMT-Systems (termasuk teknologi 5G). Bahkan berdasarkan riset yang dilakukan oleh GSMA, sebagian besar negara-negara di kawasan Asia tenggara menggunakan rentang frekuensi 3400 – 3700 MHz untuk penggunaan sistem komunikasi satelit.

Pada Tugas Akhir ini interferensi dianalisis pada frekuensi *extended C-band* pada rentang 3400-3700 MHz, dengan menggunakan data-data dari satelit Telkom-1 dan data parameter 5G. Parameter yang diamati yaitu dengan melihat sinyal *carrier* dipengaruhi oleh sinyal interferensi yang dihasilkan oleh kedua sistem, biasa disebut *carrier to interference ratio (C/I)*. Penelitian dilakukan agar nilai *C/I* dari kedua sistem berada di atas dari nilai *C/I threshold*, sehingga menghasilkan jarak minimum antara *earth station* dan BS 5G yang dibagi menjadi beberapa skenario pengujian.

Dengan nilai *C/I threshold* sebesar -12,4856 dB, nilai parameter *gain antenna* dan *power transmit* dari BS 5G sangat berpengaruh terhadap jarak minimum kedua pemancar dengan skenario terdekat pada *indoor hotspot*, antara 3640 MHz dan 3500 MHz memiliki selisih jarak minimum hanya sebesar 0,000000007 km, dan skenario *nominal clutter loss* terjauh pada *industrial zone* yang secara berturut memiliki nilai 5 km, 60 km, dan 107 km

Kata kunci : Interferensi, *carrier to interference ratio*, 5G, satelit Telkom-1

Abstract

One of the candidates for the mid-band frequency that will be proposed for use of the 5G technology frequency is at 3.5 GHz, but this frequency is also used by several satellite communication system operators in Indonesia. Based on the results of the World Radio Congress 2019, Indonesia gets a frequency range from 3500 - 3600 MHz for IMT-Systems (including 5G technology). Even based on research conducted by the GSMA, most countries in Southeast Asia use the frequency range 3400 - 3700 MHz for the use of satellite communication systems.

In this final project, the interference is analyzed in the extended C-band frequency, namely in the range 3400-3700 MHz, using data from the Telkom-1 satellite and 5G parameter data. The observed parameter is that the carrier signal is affected by the interference signal generated by the two systems, commonly called the carrier to interference ratio (C / I). The research was conducted so that the C / I value of the two systems was above the C / I threshold value, resulting in the minimum distance between the earth station and BS 5G which was divided into several test scenarios.

With a C / I threshold value of -12.4856 dB, the antenna gain and transmit power parameter values of the 5G BS greatly affect the minimum distance of the two transmitters with the closest placement to the indoor hotspot, between 3640 MHz and 3500 MHz having a minimum distance difference of only 0,000000007 km, and the farthest chaos nominal loss scenario in the industrial zone has values of 5 km, 60 km, and 107 km, respectively.

Keywords : Interference, *carrier to interference ratio*, 5G, Telkom-1 Satellite

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan 3GPP TR 21.915 (Release 15), *Frequency Range 1* (FR1) berada pada rentang frekuensi dari 450 MHz – 7125 MHz [1]. Dan berdasarkan hasil dari *World Radio Conference 2019* (WRC-19) di Sharm el-Shaikh Mesir kemarin, Republik Indonesia yang terletak di *Region 3* menurut *International Telecommunication Union* (ITU), mendapatkan rentang frekuensi dari 3500 – 3600 MHz untuk IMT *Systems* (termasuk IMT-2000, IMT-Advanced, dan IMT-2020) [2]. Rentang frekuensi yang telah ditetapkan oleh *Radio Regulations* ini bertabrakan pada frekuensi yang digunakan oleh sistem komunikasi satelit pada C-band, utamanya di kawasan Asia Tenggara.

Menurut data yang dirilis oleh GSMA : *Roadmap for C-band Spectrum in ASEAN*, per Juli 2019 tujuh dari sepuluh negara di kawasan Asia Tenggara menggunakan rentang frekuensi dari 3400 – 4200 MHz untuk layanan satelit, dua dari sepuluh negara menggunakan frekuensi di atas 3600 – 4200 MHz juga di layanan satelit, hanya negara Filipina yang terdata tidak menggunakan layanan satelit pada rentang frekuensi 3300 – 4200 MHz. [3]

Diperoleh dari data yang sama, Republik Indonesia untuk penggunaan frekuensi *extended C-band* (3400 – 3700 MHz) dan *standard C-band* (3700 – 4200 MHz) dimanfaatkan oleh beberapa satelit, seperti satelit PALAPA D, satelit TELKOM 3S, satelit BRISat, satelit TELKOM-4, dan satelit NUSANTARA SATU, ditambah dengan estimasi lebih dari 100.000 layanan VSAT yang tersebar di seluruh Indonesia akan semakin mempengaruhi penggunaan frekuensi 3,5 GHz untuk layanan 5G. [3]

Sebuah penelitian dilakukan untuk menganalisa penggunaan frekuensi yang sama dari rentang 3400 – 3600 MHz yang berkoeksistensi antara sistem 5G dan *Fixed Satellite Service* (FSS). Dengan memperhatikan karakteristik *Radio Frequency* (RF) dari *Low Noise Block* (LNB) dan filter yang disimulasikan di lapangan, dari hasil jurnal tersebut dapat mengurangi interferensi dan menjanjikan koeksistensi antara sistem 5G dan FSS. [4]

1.2 Rumusan Masalah

1. Berapa jarak minimal yang dapat digunakan agar sistem 5G dan FSS dapat saling bekerja?
2. Berapa nilai parameter *transmit power* dan *gain antenna* dari sistem 5G agar tercapai jarak tertentu?

1.3 Tujuan dan Manfaat

1. Level sinyal dari sistem 5G dan FSS berada di atas *threshold* interferensi pada frekuensi *extended C-band*
2. Mendapatkan hasil berupa jarak yang dipengaruhi oleh kondisi *Base Station* (BS)

1.4 Batasan Masalah

1. Menggunakan parameter EIRP, diameter dan efisiensi antena dari *Earth Station* (ES)
2. Menggunakan parameter *transmit power* dan *gain antenna* dari sistem 5G
3. Menggunakan studi kasus BS 5G sebagai penginterferensi dan *earth stations* sebagai terinterferensi
4. Menggunakan model propagasi *free space path loss*
5. Menggunakan *single BS* 5G
6. Parameter analisa yang digunakan yaitu *carrier to interference ratio* (C/I)
7. Parameter satelit menggunakan satelit Telkom-1
8. *Link budget* 5G tidak diperhitungkan karena hanya melihat pengaruh BS 5G terhadap ES, tidak menggunakan *terminal user*
9. Frekuensi yang diamati dari 3,4 – 3,7 GHz

2. Dasar Teori

2.1 Sistem Komunikasi Satelit

Sistem satelit secara umum terbagi tiga, *space segment*, *control segment*, dan *ground segment*. *Space segment* terdiri dari satu atau beberapa satelit luar angkasa yang aktif, *control segment* adalah semua fasilitas yang terletak di bumi untuk mengatur dan *monitoring* satelit yang juga dinamakan stasiun *Tracking, Telemetry, Command* (TTC), manajemen trafik, dan *ground segment* terdiri dari semua trafik *earth stations* (ES) atau stasiun bumi. [5]

2.2 Frequency bands

Komunikasi satelit adalah bentuk dari radio atau komunikasi nirkabel dan karenanya harus bersaing dengan potensi penggunaan lain dari spektrum radio. Selama 10 tahun awal pengembangan, spektrum frekuensi radio untuk radio masih terbilang longgar. Di tahun-tahun setelahnya karena satelit tumbuh pesat, alokasi spektrum menjadi medan perang internasional sebagai penyedia layanan yang bergabung dengan pemerintah dan perselisihan meluas melintasi perbatasan. Spektrum radio untuk komunikasi satelit umumnya di antara 1 – 30 GHz. [6]

2.3 Satelit Telkom-1

Memiliki 36 transponder yang terdiri dari 24 transponder menggunakan spektrum frekuensi *standard C-band* dan 12 transponder menggunakan spektrum frekuensi *extended C-band*, mempunyai bandwidth 36 MHz dan guard band 4 MHz untuk mencegah interferensi. Untuk frekuensi *standard C-band*, frekuensi

uplink sebesar 5925 – 6425 MHz sedangkan frekuensi *downlink* sebesar 3700 – 4200 MHz. Pada *extended C-band*, frekuensi *uplink* sebesar 6455 – 7705 MHz sedangkan frekuensi *downlink* sebesar 3400 – 3660 MHz.[7] Satelit Telkom-1 memiliki nilai EIRP sebesar 41 dBW yang berjarak 36.000 km dari bumi. Antena *uplink* berdiameter 7 meter dan antena *downlink* berdiameter 10 meter, masing-masing efisiensi sebesar 60%. Redaman atmosfer bernilai 0,02 dB, redaman hujan *uplink* 0,17 dB, dan redaman hujan *downlink* 0,5 dB. [8]

2.4 Perhitungan Parameter Satelit

Perhitungan parameter satelit berguna untuk menilai kualitas sinyal agar tercapai rancangan sistem dengan kualitas yang sesuai. Adapun untuk melakukan perhitungan satelit Telkom-1, diperlukan beberapa parameter seperti

a. *Effective Isotropic Radiated Power* (EIRP)

EIRP menyatakan besarnya level daya efektif yang dipancarkan secara isotropis oleh antena *earth station* atau satelit yang memancar sama ke semua arah, yang dirumuskan sebagai berikut

$$EIRP = P + Gain - (Loss\ atm + Loss\ hujan) \quad (2.1)$$

Di mana

P = Daya pancar pada antena pemancar

Gain = Gain antena pemancar

Loss = 0,02 dB (atm)

= 0,17 dB (*uplink*)

= 0,5 dB (*downlink*)

b. Penguatan (*Gain*) Antena

Gain antena didefinisikan sebagai perbandingan antara intensitas radiasi maksimum antena yang diukur terhadap intensitas maksimum antena isotropis pada arah dan daya input yang sama. Antena isotropis merupakan antena maya (ideal) yang berbentuk titik, meradiasikan daya secara merata ke segala arah. Rumusnya yaitu

$$G\ (dB) = 20,4 + 10\ \log\ \eta + 20\ \log\ f + 20\ \log\ D \quad (2.2)$$

Di mana

G = *gain* antena (dB)

η = efisiensi antena

f = frekuensi kerja (GHz)

D = Diameter antena (meter)

c. Redaman Ruang Bebas (*Free Space Loss*)

Free space loss merupakan redaman yang dialami gelombang radio yang melintas dalam ruang bebas dengan media atmosfer. Besar redaman diperhitungkan dari factor jarak propagasi dan frekuensi kerja, dapat dirumuskan sebagai

$$FSL = 92,4 + 20\ \log\ f + 20\ \log\ d \quad (2.3)$$

Di mana

f = frekuensi kerja (GHz)

d = *distance* atau jarak (km)

d. *Carrier Signal*

Merupakan sinyal yang dihasilkan oleh perangkat pengirim yang mengirim sinyal *carriernya*, rumus ini didapatkan dari *ITU C/I Calculations BR Space Services Department*

$$C = Psat + Gtx + Grx - FSL \quad (2.4)$$

Di mana

C = *signal carrier* (dBW)

Psat = *power* satelit (dBW)

Gtx = *gain* pengirim

Grx = *gain* penerima

FSL = *free space loss* [9]

2.5 Teknologi 5G

Teknologi 5G yang dimulai pada tahun 2019, didesain untuk menyediakan kecepatan lebih tinggi dari 2 Gbps yang menawarkan kapasitas, *latency*, dan kehandalan. *Latency* adalah *delay* ketika antara data dikirimkan dan data tersebut diterima. *Online gaming*, *Virtual* dan *Augmented reality* memerlukan *latency* yang sangat kecil, apalagi untuk penggunaan pengaturan kritis yang sangat sensitif seperti kendaraan otomasi atau *autonomous vehicles*. Untuk mempercepat kecepatan data, 5G akan memerlukan perangkat keras baru pada jaringan dan level perangkat yang kompatibel dengan standar 5G *New Radio* (NR). [10]

2.6 Minimum Technical Performance Requirement

Persyaratan performansi teknis minimum yang didefinisikan dalam *Report ITU-R M-2410-0* [11] adalah untuk mendefinisikan, spesifikasi, dan evaluasi dari kandidat teknologi 5G. Tujuan dari persyaratan

ini untuk memastikan bahwa teknologi IMT-2020 atau 5G mampu memenuhi tujuannya dan untuk menetapkan tingkat performansi spesifik yang perlu dicapai.

2.7 Interferensi

Koeksistensi lebih dari satu *base station* pada satu area yang sama dapat menimbulkan interferensi antara pemancar dan penerima. Secara umum, interferensi antar sistem stasiun radio dapat dibagi menjadi dua, yaitu: *co-channel interference* dan *adjacent channel interference*. [12]

Untuk menghitung interferensi yang terjadi antara sistem satelit dan 5G, berdasarkan [4], ketika interferensi terjadi hanya pada *single 5G base station* terhadap *earth station*, dapat dirumuskan sebagai

$$I_{5G} = P_{5G} + G_{5G} + G_{Rx_ES} - L_{bf} - CL \quad (2.5)$$

Di mana

I_{5G} = *interference power* yang diterima oleh ES

P_{5G} = *transmitting power* dari BS 5G

G_{5G} = *gain antenna* dari BS 5G

G_{Rx_ES} = *gain ES receive antenna*

L_{bf} = *path loss*

CL = *clutter loss*

Untuk *path loss*, menggunakan rumus *free space path loss* berdasarkan *Recommendation ITU-R P.525-4*, yaitu [13]

$$L_{bf} \text{ (dB)} = 32,4 + 20 \log (f)_{\text{MHz}} + 20 \log (d)_{\text{km}} \quad (2.6)$$

Di mana

L_{bf} (dB) = *path loss*

f (MHz) = frekuensi yang digunakan

d (km) = jarak antara dua pemancar

Untuk mencari nilai *clutter loss*, berdasarkan *additional clutter losses* pada *Recommendation ITU-R P.452-12*, yaitu [14]

$$A_h = 10,25 * e^{-dk} \left(1 - \tanh \left[6 \left(\frac{h}{h_a} - 0,625 \right) \right] \right) - 0,33 \quad (2.7)$$

Di mana

A_h (dB) = *clutter losses*

d_k (km) = jarak dari *nominal clutter* menuju antena

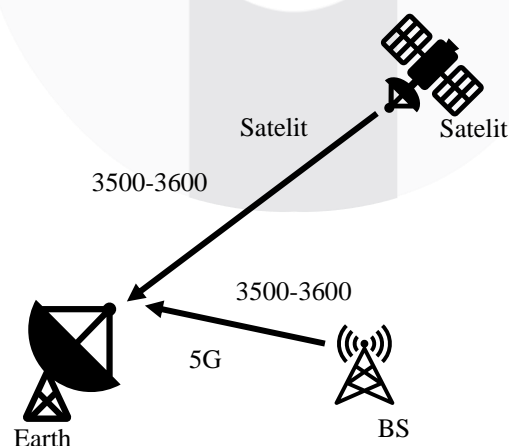
h (m) = tinggi antena dari permukaan tanah

h_a (m) = *nominal clutter height* dari permukaan tanah

3. Pembahasan

3.1. Pendahuluan

Skenario penelitian dilakukan dengan melihat dan membandingkan sinyal *carrier downlink* dari satelit menuju *earth station* yang akan terganggu oleh sinyal *carrier* dari perangkat *Base Station 5G*, seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Skenario Penelitian

Penelitian dilakukan menggunakan frekuensi di rentang 3500 - 3600 MHz yang telah ditetapkan di WRC-19. Pada sistem satelit Telkom-1, frekuensi 3500 MHz berada dari transponder 27 - 29 dengan frekuensi downlink sebesar 3500 - 3580 MHz dan transponder 33 - 34 dari 3520-3560 MHz, sedangkan frekuensi 3600 MHz berada pada transponder 30 dengan frekuensi downlink 3620 MHz dan transponder 35 - 36 dari 3600 - 3640. Parameter yang dilihat yaitu ketika C/I dari sistem yang menginterferensi (5G)

dan terinterferensi (ES) kurang dari *C/I threshold* sebesar -12,4856 dB. Ketika nilai *C/I* bernilai sama dengan atau melebihi nilai tersebut, didapat jarak aman antara BS 5G dan FSS Telkom-1 tanpa memperhatikan polarisasi, *tilting*, perspektif antena, beamforming. Dalam beberapa skenario ke depan, menggunakan transponder 27 pada frekuensi 3500 MHz dan transponder 36 pada frekuensi 3640 MHz, dua frekuensi dipilih dengan mempertimbangkan selisih dari dua frekuensi terjauh agar grafik terlihat signifikan.

3.2. Data Teknis Penelitian

Beberapa data teknis yang tersedia berfungsi untuk membantu perhitungan dan analisis agar mendapatkan hasil yang sesuai. Beberapa data teknis di bawah terbagi menjadi 2 bagian, yaitu data teknis satelit dan data teknis 5G.

Tabel 3.1 Data Teknis 5G

Parameter	Value		
	Indoor Hotspot	Dense Urban	Rural
Jarak ES dan BS 5G (km)	0 – 500	0 – 500	0 – 500
5G Base station transmitted power (dBm)	24	44	49
5G Base station antenna gain (dBi)	5	8	8
Frequency of operation (MHz)	3500 and 3640		
Bandwidth (MHz)	At least 100		
Base station transmitted power (W)	5		
Base station antenna gain (dBi)	27		

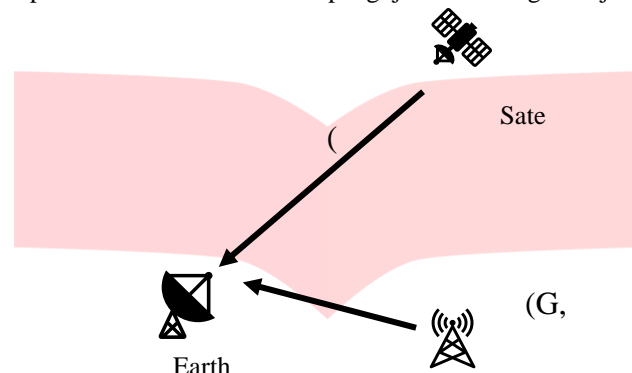
Tabel 3.2 Data Teknis Satelit Telkom-1

Parameter	Value
Frequency of operation (MHz)	3500 and 3640
Diameter antena <i>uplink</i> (meter)	7
Diameter antena <i>downlink</i> (meter)	10
Efisiensi antena	60%
EIRP Satelit (dBW)	41
Redaman Atmosfer (dB)	0,02
Redaman hujan <i>downlink</i> (dB)	0,5
Jarak Bumi – Satelit (km)	36000
Interference Threshold (dBm)	-60
Bandwidth (MHz)	36
Clutter rural h_a (m)	4
Clutter rural d_k (km)	0,1
Clutter suburban h_a (m)	9
Clutter suburban d_k (km)	0,025
Clutter dense suburban h_a (m)	12
Clutter dense suburban d_k (km)	0,02
Clutter urban h_a (m)	20

Clutter urban d_k (km)	0,02
Clutter dense urban h_a (m)	25
Clutter dense urban d_k (km)	0,02
Clutter industrial zone h_a (m)	20
Clutter industrial zone d_k (km)	0,05

3.3. Skenario

Skenario pengujian berfungsi untuk melihat perbedaan dan analisis dari beberapa pendekatan. Huruf (f) melambangkan frekuensi yang digunakan, (G,P) melambangkan nilai *gain* (G) dan *transmit power* (P) dari sistem 5G. Persamaan dari semua skenario yaitu sama-sama menggunakan sinyal *downlink* dari sistem satelit dan 5G seperti pada Gambar 3.2. Skenario pengujian ini terbagi menjadi 4, yaitu



Gambar 3.2 Gambar B Skenario

Skenario Pengujian 1

Skenario pengujian pertama bertujuan untuk melihat jarak aman interferensi dari ES dan 5G. Menggunakan parameter 5G dari tabel 3.2, disimulasikan ke dalam *software* Matlab, menggunakan frekuensi 3500 MHz dengan jarak dari 0-500 km. Pada grafik garis x menunjukkan jarak terhadap nilai *threshold* C/I dan pada garis y menunjukkan nilai C/I yang dihasilkan dari jarak tertentu. Pada nilai C/I dan jarak tertentu, terdapat titik pertemuan antara garis kurva yang dihasilkan oleh perhitungan dengan C/I threshold. Penggunaan nilai (G,P) terutama nilai G lebih besar dari beberapa parameter *indoor hotspot*, *dense urban*, dan *rural*. Menggunakan nilai (G,P) sebesar 5 Watt dan 27 dBi, dengan nilai data satelit yang sama, dan menggunakan zona *clutter loss rural*.

Skenario Pengujian 2

Skenario pengujian dua bertujuan untuk membandingkan hasil nilai dari pengujian 1 menggunakan nilai (f) 3500 MHz, namun perbedaannya terdapat pada nilai (G,P) menggunakan nilai dari zona *indoor hotspot*, *dense urban*, dan *rural* dari tabel 3.2 berdasarkan *Report ITU-R M.2412-0 (10/2017)* dan menggunakan zona *clutter loss rural*. Hasil grafik menghasilkan tiga garis, dengan masing-masing garis berdasarkan tiga zona di atas yang memiliki titik perpotongan yang berbeda, hasil analisis perbandingan skenario pengujian kedua dan pertama dijelaskan pada bab 4.

Skenario Pengujian 3

Skenario pengujian ketiga untuk memperhatikan perbedaan frekuensi yang digunakan. Pada skenario 2 menggunakan nilai (f) frekuensi 3500 MHz, dan skenario 3 menggunakan nilai (f) frekuensi 3640 MHz, nilai (G,P) juga sama dengan skenario 2, serta menggunakan zona *clutter loss rural*. Hasil grafiknya juga akan menghasilkan jumlah 3 kurva, sama seperti skenario 2. Hasil grafik pada skenario pengujian ketiga ini juga menghasilkan 3 garis dengan 3 titik perpotongan yang berbeda, penyebab dari perbedaan titik perpotongan ini akan dijelaskan pada bab 4.

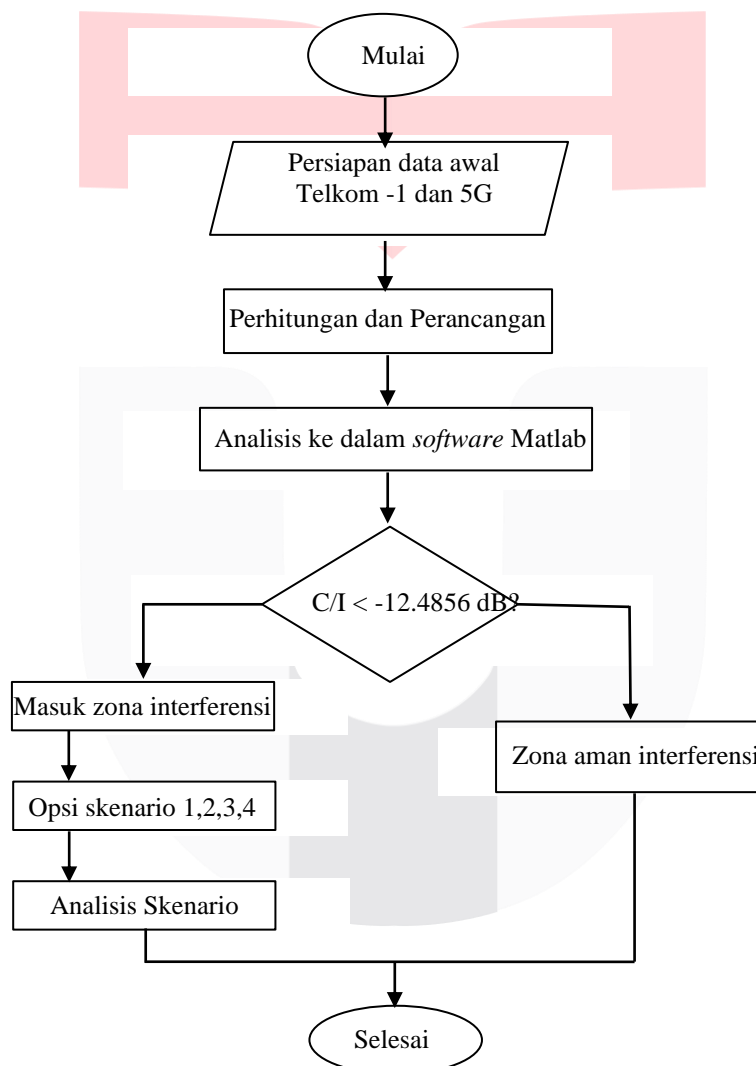
Skenario Pengujian 4

Skenario pengujian keempat untuk membandingkan zona *clutter loss*, dengan menggunakan nilai (f) sebesar 3500 MHz dan nilai (G,P) dari [15], nilai (G,P) yang digunakan sama dengan skenario kedua dan ketiga. Namun setelah zona dibagi pada sistem 5G, pada skenario ini zona juga akan dibagi pada sistem *earth stations* satelit Telkom-1. Pada skenario pertama sampai ketiga menggunakan zona *clutter loss rural*, pada skenario ini menggunakan beberapa zona *clutter loss*, seperti *suburban*, *dense suburban*, *urban*, *dense urban*, dan *industrial zone*. Beberapa zona *clutter loss* memiliki titik perpotongan yang berbeda.

3.4 Diagram Alur

Memulai pemodelan dengan mempersiapkan data- data parameter dari sistem komunikasi satelit Telkom-1 dan sistem komunikasi 5G dari jurnal terkait. Data-data parameter tersebut diolah ke dalam perhitungan dan perancangan dengan rumus yang sesuai. Setelah mendapatkan hasil perhitungan dan perancangan, melakukan analisis dari perhitungan dan perancangan tersebut ke dalam *software* Matlab sesuai skenario yang diajukan.

Tujuan menganalisis agar dapat menampilkan visualisasi grafik sesuai perhitungan. Ketika grafik telah muncul, tergambaran jarak tertentu dan C/I tertentu yang menghasilkan garis. Ketika sebagian garis kurva berada di bawah C/I threshold yaitu sebesar -12,4856 dB, menunjukkan pada jarak tersebut dua sistem ini mengalami interferensi. Untuk mengurangi jarak antar kedua perangkat, opsi skenario 2 diajukan yang mempunyai nilai jarak dan interferensi yang lebih kecil, atau dengan opsi memperlebar jarak antar kedua perangkat. Sedangkan ketika garis kurva berada di atas dari -12,4856 dB, pada jarak ini interferensi tidak mempengaruhi sistem ES satelit yang merupakan jarak aman dari 2 perangkat ketika kedua sistem ini beroperasi pada frekuensi yang bersamaan.



Gambar 3.3 Diagram alur

3.5 Perhitungan

3.5.1 Satelit Downlink

$$G \text{ (dB)} = 20,4 + 10 \log \eta + 20 \log f + 20 \log D \quad (3.1)$$

$$P_{Sat_Max} \text{ (dBW)} = EIRP_{Sat} - G_{Tx_Sat} + \text{Loss yang terjadi} \tag{3.2}$$

$$FSL = 92,4 + 20 \log f + 20 \log d \tag{3.3}$$

$$C = P_{sat} + G_{tx} + G_{rx} - FSL \tag{3.4}$$

3.5.2. Perhitungan Interferensi

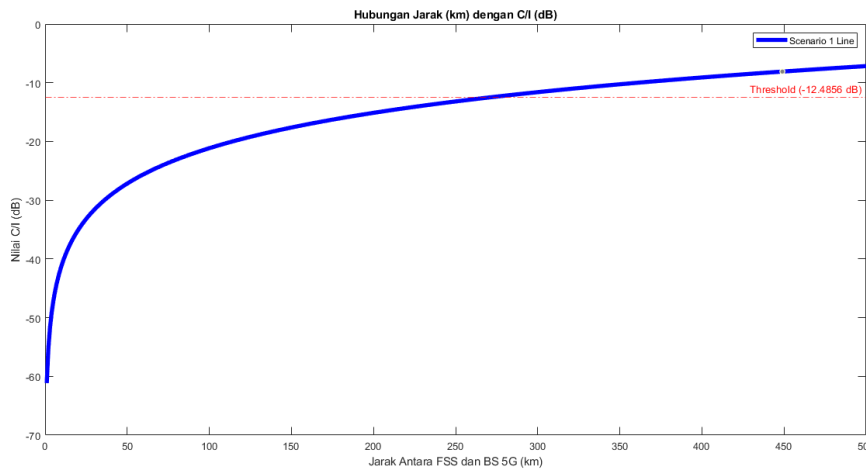
$$I_{5G} = P_{5G} + G_{5G} + G_{Rx_ES} - L_{bf} - CL \tag{3.5}$$

$$L_{bf} \text{ (dB)} = 32,4 + 20 \log (f)_{MHz} + 20 \log (d)_{km} \tag{3.6}$$

$$A_h = 10,25 * e^{-dk} \left(1 - \tanh \left[6 \left(\frac{h}{h_a} - 0,625 \right) \right] \right) - 0,33 \tag{3.7}$$

4. Hasil Analisis Skenario

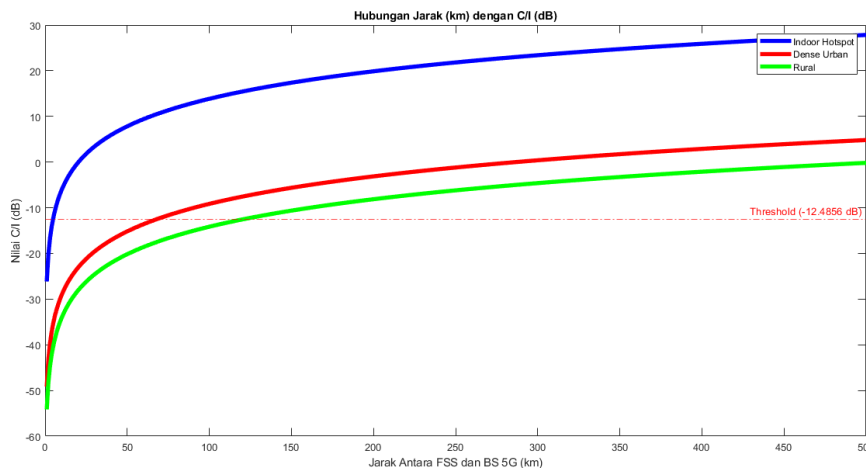
4.1 Skenario 1



Gambar 4.1 Grafik Skenario 1

Menggunakan frekuensi 3500 MHz, dan menggunakan nilai BS 5G transmit power 6,9897 dBW (dikonversi dari 5W) dan gain antenna BS 5G sebesar 27 dBi, garis kurva yang berpotongan di C/I threshold berada pada jarak 270,9591251465 km dengan nilai C/I sebesar -12,485601718 dB, artinya dua perangkat ini harus berjarak minimal 270,9591251465 km agar terjadi interferensi yang minimal.

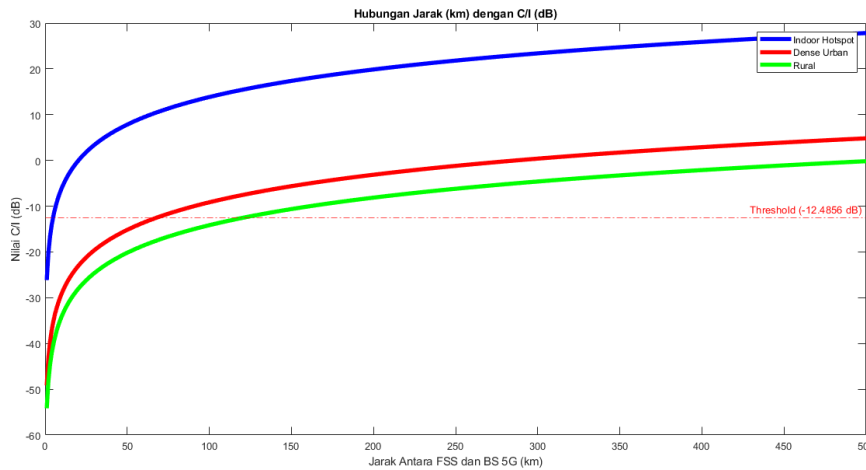
4.2 Skenario 2



Gambar 4.2 Grafik Skenario 2

Garis kurva biru berpotongan terhadap C/I threshold pada jarak 4,839528051 km dengan nilai C/I sebesar -12,4856017188 dB. Garis kurva ini yang terlihat paling dekat perpotongannya dan selisih dengan skenario pertama 266,1195970955 km. Garis kurva merah berpotongan terhadap C/I threshold pada jarak 68,14349005 km dengan nilai C/I sebesar -12,485601719 dB. Memiliki nilai *transmit power* terbesar yaitu 49 dBm atau 19 dBw dengan nilai *gain antenna* sebesar 8 dBi, memiliki jarak minimum terjauh sejauh 121,177172171 km dengan nilai C/I sama dengan threshold, selisih dengan skenario pertama 149,7819529755 km.

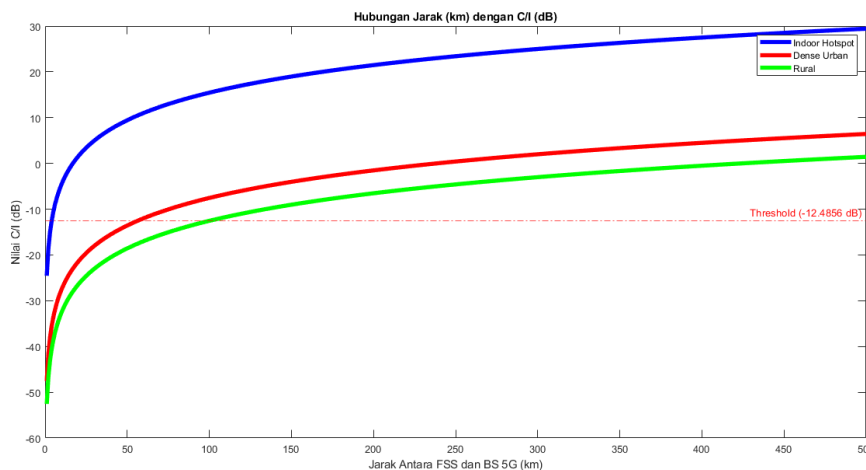
4.3 Skenario 3



Gambar 4.3 Grafik Skenario 3

Perpotongan kurva yang berwarna biru berada pada jarak 4,839528058 km dengan nilai C/I sebesar -12,4856017188. Selisih dari skenario dua sebesar 0,000000007 km. atau 7µm. Pada garis kurva berwarna merah, harus berjarak minimal 68,143490057 km dengan nilai C/I sebesar -12,4856 dB, dan pada garis kurva warna hijau, perpotongan kurva berada pada jarak 121,177172171 km.

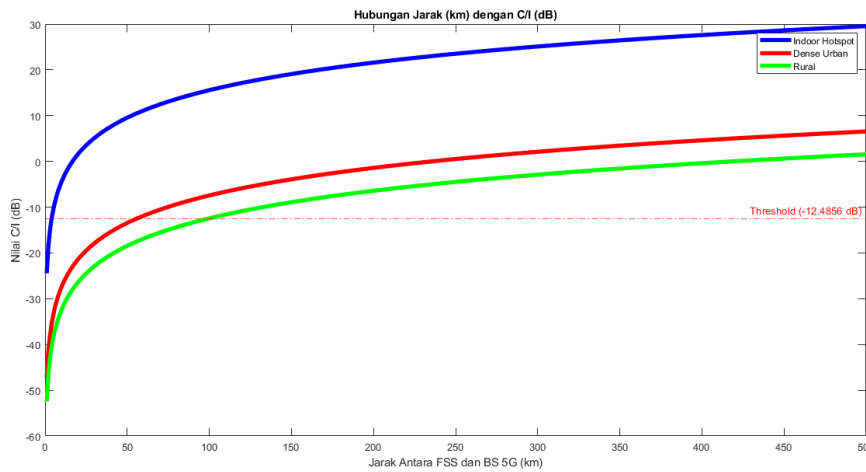
4.4 Skenario 4



Gambar 4.4 Grafik skenario 4 suburban

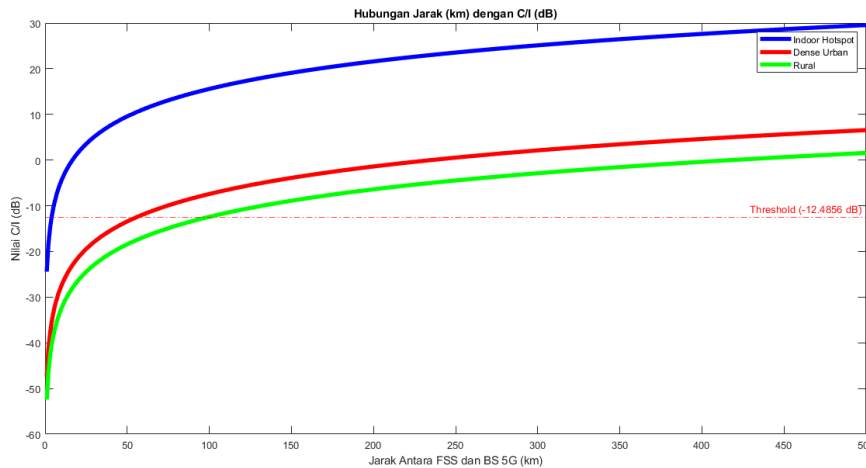
Pada Grafik Gambar 4.4 skenario keempat dengan memperhatikan zona *clutter loss*, skenario *indoor hotspot* 5G pada garis berwarna biru memiliki jarak minimal 4 km dan nilai C/I sebesar -12,5061 dB, skenario *dense urban* 5G pada garis berwarna merah memiliki jarak minimal 57 km dan nilai C/I sebesar -

12,4298 dB, dan skenario rural 5G pada garis berwarna hijau memiliki jarak minimal 101 km dan nilai C/I sebesar -12,4608 dB.



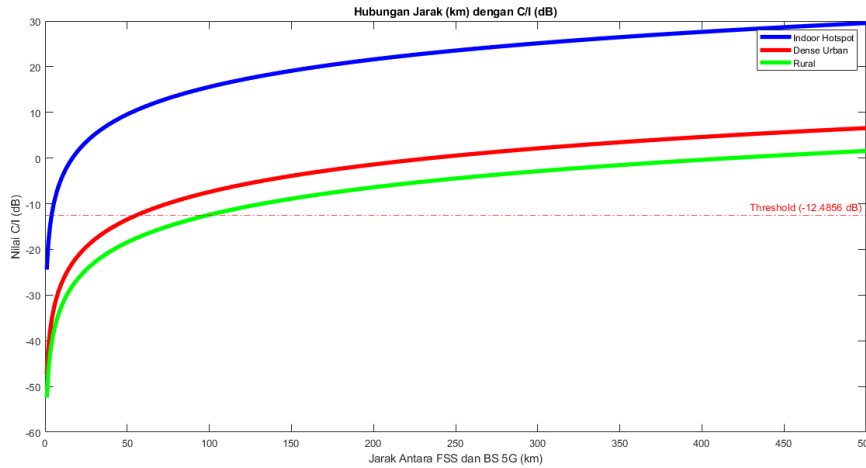
Gambar 4.5 Grafik Skenario 4 dense suburban

Pada Grafik Gambar 4.5 skenario keempat dengan memperhatikan zona clutter loss, skenario indoor hotspot 5G pada garis berwarna biru memiliki jarak minimal 4 km dan nilai C/I sebesar -12,395 dB, skenario dense urban 5G pada garis berwarna merah memiliki jarak minimal 56 km dan nilai C/I sebesar -12,4724 dB, dan skenario rural 5G pada garis berwarna hijau memiliki jarak minimal 100 km dan nilai C/I sebesar -12,4362 dB.



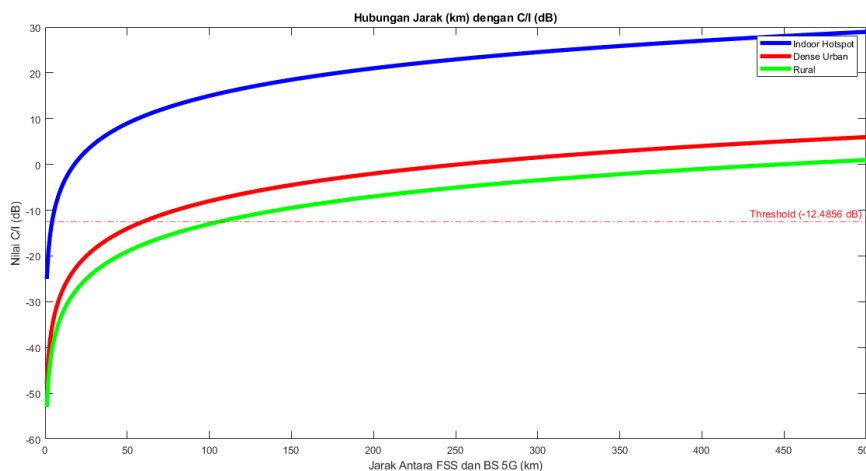
Gambar 4.6 Grafik Skenario 4 urban

Pada Gambar 4.6 indoor hotspot 5G pada garis berwarna biru memiliki jarak minimal 4 km dan nilai C/I sebesar -12,385 dB, skenario dense urban 5G pada garis berwarna merah memiliki jarak minimal 56 km dan nilai C/I sebesar -12,4624 dB, dan skenario rural 5G pada garis berwarna hijau memiliki jarak minimal 100 km dan nilai C/I sebesar -12,4262 dB.



Gambar 4.7 Grafik Skenario 4 dense urban

Pada Grafik Gambar 4.7 skenario keempat dengan memperhatikan zona *clutter loss*, skenario *indoor hotspot* 5G pada garis berwarna biru memiliki jarak minimal 4 km dan nilai C/I sebesar -12,382 dB, skenario *dense urban* 5G pada garis berwarna merah memiliki jarak minimal 56 km dan nilai C/I sebesar -12,4594 dB, dan skenario rural 5G pada garis berwarna hijau memiliki jarak minimal 100 km dan nilai C/I sebesar -12,4232 dB.



Gambar 4.8 Grafik Skenario 4 industrial zone

Pada Gambar 4.8 *indoor hotspot* 5G pada garis berwarna biru memiliki jarak minimal 5 km dan nilai C/I sebesar -11,04 dB, skenario *dense urban* 5G pada garis berwarna merah memiliki jarak minimal 60 km dan nilai C/I sebesar -12,4564 dB, dan skenario rural 5G pada garis berwarna hijau memiliki jarak minimal 107 km dan nilai C/I sebesar -12,4317 dB.

Dari beberapa skenario yang telah dilakukan, beberapa hasil analisa dari keempat skenario dikumpulkan menjadi satu yang ditunjukkan pada tabel 4.1, dengan nilai jarak minimum yang telah dibulatkan.

Tabel 4.1 Hasil Analisis Semua Skenario

Skenario	Sub Skenario 5G	Sub Skenario Clutter Loss	Nilai C/I	Jarak Minimum
1	-	Rural	-12,4856 dB	270,95 km
2	Indoor Hotspot	Rural	-12,4856 dB	4,83 km
	Dense Urban		-12,4856 dB	68,14 km
	Rural		-12,4856 dB	121,17 km
3	Indoor Hotspot	Rural	-12,4856 dB	4,83 km
	Dense Urban		-12,4856 dB	68,14 km
	Rural		-12,4856 dB	121,17 km
4	Indoor Hotspot	Suburban	-12,5061 dB	4 km
	Dense Urban		-12,4298 dB	57 km
	Rural		-12,4608 dB	101 km
	Indoor Hotspot	Dense Suburban	-12,395 dB	4 km
	Dense Urban		-12,4724 dB	56 km
	Rural		-12,4362 dB	100 km
	Indoor Hotspot	Urban	-12,385 dB	4 km
	Dense Urban		-12,4624 dB	56 km
	Rural		-12,4262 dB	100 km
	Indoor Hotspot	Dense Urban	-12,382 dB	4 km
	Dense Urban		-12,4594 dB	56 km
	Rural		-12,4232 dB	100 km
	Indoor Hotspot	Industrial Zone	-11,04 dB	5 km
	Dense Urban		-12,4564 dB	60 km
	Rural		-12,4317 dB	107 km

4. Kesimpulan

1. C/I threshold yang didapatkan dari perhitungan sebesar -12,4856 dB, sebagai batas parameter interferensi yang digunakan
2. Pada skenario satu dengan menggunakan nilai *transmit power* sebesar 5 W yang setara dengan 6,9897 dBW dan nilai *gain antenna* sebesar 27 dBi, dari hasil simulasi menghasilkan jarak dari *earth station* terhadap BS 5G jika dibulatkan sejauh 271 km
3. Dari skenario dua, hasil analisis dengan menggunakan frekuensi di 3500 MHz, untuk parameter *indoor hotspot* nilai *transmit power* 24 dBm dan nilai *gain antenna* 5 dBi menghasilkan jarak sejauh 4,8 km, untuk parameter *dense urban* dengan nilai *transmit power* 44 dBm dan nilai *gain antenna* 8 dBi menghasilkan jarak sejauh 68,14 km, dan parameter *rural* menggunakan nilai *transmit power* sebesar 49 dBm dan nilai *gain antenna* sebesar 8 dBi menghasilkan jarak sejauh 121 km
4. Dari perbandingan yang dihasilkan dari skenario kedua dan skenario ketiga, selisih jaraknya sebesar 7×10^{-9} km atau 7 μ m.
5. Untuk skenario keempat, jarak terjauh dari skenario *indoor hotspot* 5G dimiliki oleh *clutter loss industrial zone* (5 km), skenario *dense urban* 5G dimiliki oleh *clutter loss industrial zone* (60 km), dan skenario *rural* 5G dimiliki oleh *clutter loss industrial zone* (107 km).

Daftar Pustaka:

- [1] 3GPP TR 21.915, “3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspect; Release 15 Description; Summary of Rel-15 Work Items (Release 15),” *Tech. Rep.*, 2019.
- [2] ITU, “MOD 5.433A – Frequency allocations,” in *World Radio Communications Conference WRC*, November 2019.
- [3] GSMA, “Roadmap for C-band spectrum in ASEAN,” *Rep.*, August 2019.
- [4] H. Tan, Y. Liu, Z. Feng, and Q. Zhang, “Coexistence Analysis between 5G System and Fixed-Satellite Service in 3400-3600 MHz,” *China Communications*, vol. 15, pp. 25-32, November 2018.
- [5] Maral, Gerard dan Bosquet, Michael. 2009. *Satellite Communications Systems*. United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd.
- [6] Elbert, Bruce R. 2004. *The Satellite Communication Applications Handbook*. London: Artech House
- [7] Ariyanti, Sri dan Purwanto, Budi A. 2013. “Analisis Kinerja Penggunaan Modulasi QPSK, 8 PSK, 16 QAM Pada Satelit Telkom-1” dalam *Buletin Pos dan Telekomunikasi Volume 11* (hlm. 45-64). Jakarta: Puslitbang Sumber Daya dan Perangkat Pos dan Informatika
- [8] Saad, Roesdy dkk. 2011. “Perhitungan Link Budget Satelit Telkom-1” dalam *Rekayasa Teknologi Volume 2* (hlm. 20-24). Jakarta: Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. HAMKA
- [9] ITU, “Carrier to Interference (C/I ratio) Calculations,” *Tech. Rep.*, 2014
- [10] Brian, Underdahl. 2018. “*5G for Dummies*”. New Jersey: John Wiley & Sons Ltd.
- [11] ITU-R, “Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s),” *Tech. Rep.*, 2017
- [12] Natasha, F. 2020. “Analisis Interferensi antara Sistem LTE dan Sistem TETRA di Pita 800 MHz,”. Tugas Akhir. FTE, Teknik Telekomunikasi, Universitas Telkom, Bandung.
- [13] ITU-R, “Calculation of free-space attenuation,” *Rec.*, 2019
- [14] ITU-R, “Prediction procedure for the evaluation of microwave interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.7 GHz,” *Rec.*, 2005
- [15] ITU-R, “Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-2020,” *Tech. Rep.*, 2017

